

Rec'd PAT/PTO 10/500079 23 JUN 2004

## (12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
10. Juli 2003 (10.07.2003) ✓

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 03/056630 A2(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H01L 29/732, 29/737

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): AUSTRIAMICROSYSTEMS AG [AT/AT]; Schloss Premstätten, A-8141 Unterpremstätten (AT). ✓

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/14679 ✓

(22) Internationales Anmeldedatum: 20. Dezember 2002 (20.12.2002) ✓

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KRAFT, Jochen [DE/AT]; Haydngasse 8, A-8600 Bruck/Mur (AT). LOEFFLER, Bernhard [AT/AT]; Neugasse 17, A-8200 Gleisdorf (AT). ROEHRER, Georg [AT/AT]; Fröhlichgasse 19, A-8010 Graz (AT). ✓

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

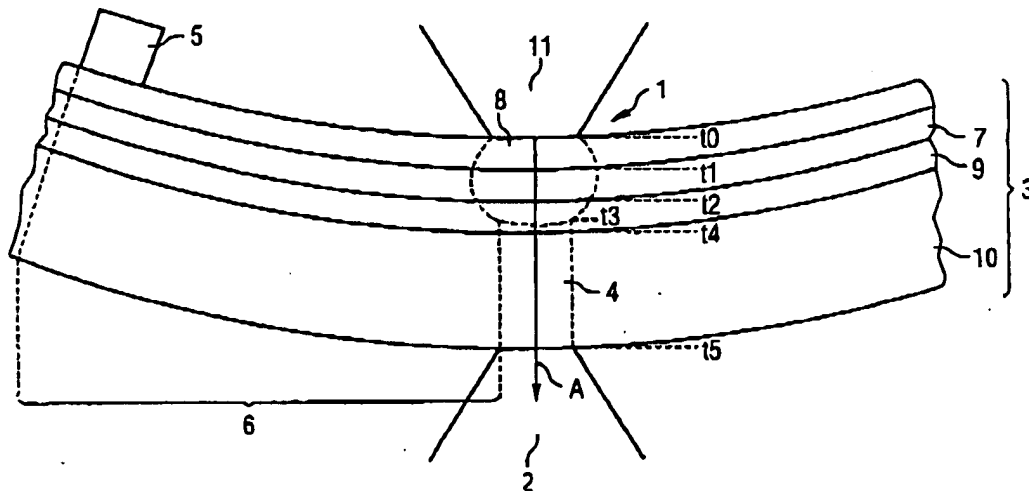
(30) Angaben zur Priorität: 101 64 176.1 ✓ 27. Dezember 2001 (27.12.2001) ✓ DE

(74) Anwalt: EPPING HERMANN &amp; FISCHER; Ridlerstr. 55, 80339 München (DE). ✓

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: TRANSISTOR ✓

(54) Bezeichnung: TRANSISTOR



(57) Abstract: The invention relates to a transistor comprising an emitter (1), a collector (2) and a base layer (3). According to the invention, the emitter (1) extends into the base layer (3); the base layer (3) comprises an intrinsic region (4) located between the emitter (1) and the collector (2), and an extrinsic region (6) extending between the intrinsic region (4) and a base contact (5); and said base layer (3) also contains a first layer (7) which is doped with a trivalent dopant, extends into the extrinsic region (6), and is counter-doped in the region of the emitter (1) by a pentavalent counter-dopant (8). The electrical resistance of the base layer (3) can be advantageously reduced due to said first doped layer (7).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Transistor mit einem Emmitter (1), einem Kollektor (2) und einer Basisschicht (3) bei dem sich der Emmitter (1) in die Basisschicht (3) hineinerstreckt, bei dem die Basisschicht (3) einen zwischen Emmitter (1) und Kollektor (2) angeordneten intrinsischen Bereich (4) und einen zwischen dem intrinsischen Bereich (4) und einem Basiskontakt (5) verlaufenden extrinsischen Bereich (6) aufweist, bei dem

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/056630 A2

WO 03/056630 A2



(81) *Bestimmungsstaaten (national):* AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

(84) *Bestimmungsstaaten (regional):* ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

die Basisschicht (3) eine mit einem dreiwertigen Do-tierstoff dotierte erste Dotierschicht (7) enthält, die sich in den extrinsischen Bereich (6) erstreckt und die im Bereich des Emitters (1) durch eine fünfwertige Gegendotierung (8) gegendotiert ist. Durch die erste Dotierschicht (7) kann der elektrische Widerstand der Basisschicht (3) in vorteilhafter Weise reduziert werden.

P2001,0893

DT04 Rec'd PCT/PTO 23 JUN 2004

1

## Beschreibung

## Transistor

- 5 Die Erfindung betrifft einen Transistor mit einem Emitter, einem Kollektor und mit einer Basisschicht.

Aus der Druckschrift "SiGe Bipolar Technology for Mixed Digital and Analog RF Applications", J. Böck et al. IEEE 2000  
10 sind Transistoren der eingangs genannten Art bekannt, bei denen die Basisschicht einen intrinsischen Abschnitt und einen extrinsischen Abschnitt aufweist, wobei der extrinsische Abschnitt einen Basiskontakt mit dem intrinsischen Abschnitt verbindet. Der extrinsische Abschnitt ist mit einer relativ  
15 geringen Bordotierung versehen, so daß der bekannte Transistor den Nachteil eines hohen Widerstands der Basisschicht aufweist. Dies führt zu einem Absinken der Leistungsverstärkung bereits bei niedrigeren Frequenzen und damit zu einer effektiven Verlangsamung des Transistors. Zusätzlich bewirkt  
20 der höhere Basiszuleitungswiderstand ein höheres Rauschen.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Transistor anzugeben, bei dem die Basisschicht einen geringen ohmschen Widerstand aufweist.

25

Diese Aufgabe wird gelöst durch einen Transistor nach Anspruch 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Transistors sind den abhängigen Ansprüchen zu entnehmen.

- 30 Es wird ein Transistor angegeben, der einen Emitter, einen Kollektor und eine Basisschicht aufweist. Der Emitter erstreckt sich in die Basisschicht hinein. Die Basisschicht weist einen zwischen dem Emitter und dem Kollektor angeordneten intrinsischen Bereich auf. Die Basisschicht weist darüber  
35 hinaus einen extrinsischen Bereich auf, der zwischen einem Basiskontakt und dem intrinsischen Bereich der Basisschicht verläuft. Die Basisschicht enthält eine innerhalb der Schicht

P2001,0893

2

verlaufende erste Dotierschicht, die mit einem dreiwertigen Dotierstoff dotiert ist. Die erste Dotierschicht erstreckt sich in den extrinsischen Bereich und verläuft auch im Bereich des Emitters, wo sie durch eine fünfwertige Dotierung gegendotiert ist.

Der Transistor hat den Vorteil, daß durch die erste Dotierschicht, die sich in den extrinsischen Bereich erstreckt und die auch im Emitter verläuft, eine Dotierung der Basisschicht vorgenommen werden kann, die den ohmschen Widerstand der Basisschicht in vorteilhafter Weise reduziert. Dadurch können elektrische Verluste des Transistors reduziert werden.

Indem die erste dotierte Schicht sowohl im extrinsischen Bereich der Basisschicht als auch im Bereich des Emitters verläuft, kann sie durch übliche Verfahren zur Dotierung von Basisschichten ohne einen weiteren Strukturierungsschritt hergestellt werden. Übliche Verfahren sind: Dotieren durch Implantation ~~ste~~ epitaktisches Abscheiden.

20 *Sowie*

Durch die Dotierung werden zusätzliche Ladungsträger in Form von Löchern in der Basisschicht bereitgestellt, die die Leitfähigkeit der Basisschicht erhöhen. Dadurch wird der ohmsche Widerstand zwischen dem Basiskontakt, an dem die Basisschicht von außen kontaktiert wird, und der intrinsischen Basis reduziert.

Vorteilhafterweise kann als dreiwertiger Dotierstoff für die erste Dotierschicht Bor gewählt werden. Bor hat den Vorteil, daß beim Bor die Aktivierungsenergie des Loches am niedrigsten aller 3-wertigen Dotierstoffe ist. Dadurch wirkt die Dotierung mit Bor schon bei Raumtemperatur.

Zwischen der ersten Dotierschicht und dem Kollektor können weitere Dotierschichten angeordnet sein. Eine zweite Dotierschicht und eine dritte Dotierschicht sind beispielsweise vorgesehen. Die zweite Dotierschicht ist zwischen der ersten

P2001,0893

3

Dotierschicht und der dritten Dotierschicht angeordnet. Die zweite und die dritte Dotierschicht sind jeweils mit einem dreiwertigen Dotierstoff, vorzugsweise Bor, dotiert. Die Dotierstoffkonzentration der zweiten Dotierschicht ist kleiner als die Dotierstoffkonzentrationen der ersten und der dritten Dotierschicht.

Die geringe Dotierstoffkonzentration der zweiten Dotierschicht hat den Vorteil, daß dadurch der pn-Übergang basisseitig in einem Bereich mit geringer Dotierstoffkonzentration zu liegen kommt. Dadurch wird einerseits der Emitter-Basis-Leckstrom aufgrund des Tunneleffektes reduziert und andererseits die parasitäre Emitter-Basis-Kapazität minimiert.

Die fünfwertige Dotierung innerhalb der Basisschicht kann von einem an die Basisschicht angrenzenden Emittergebiet in die Basisschicht eindiffundiert sein. Dieses Eindiffundieren eines fünfwertigen Dotierstoffs vom Emittergebiet in die Basisschicht ist vorteilhaft, da auf diese Weise der pn-Übergang aus einem üblicherweise für das Emittergebiet verwendeten polykristallinen Silizium in ein Gebiet der Basisschicht mit kristallinem Silizium verschoben werden kann. Dies bewirkt, daß der pn-Übergang in einem Gebiet mit wenigen Störstellen liegt, weswegen der resultierende Transistor eine bessere Gleichspannungscharakteristik mit einer guten Linearität der Verstärkung aufweist.

Im folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und den dazugehörigen Figuren näher erläutert.

30

Figur 1 zeigt ein Siliziumsubstrat mit einem Transistor in einem schematischen Querschnitt.

Figur 2 zeigt den Konzentrationsverlauf von Dotierstoffen entlang der Linie A in Figur 1.

35

P2001,0893

4

Figur 1 zeigt ein Siliziumsubstrat mit einer Basisschicht 3. Oberhalb der Basisschicht 3 ist ein Emittergebiet 11 angeordnet. Unterhalb der Basisschicht 3 ist ein Kollektor angeordnet. Die Basisschicht 3 weist einen intrinsischen Bereich 4 auf, der zwischen dem Kollektor 2 und dem Emitter 1 des Transistors liegt. Der Emitter 1 ist gebildet aus dem Emittergebiet 11 und einem Gebiet, das eine Gegendotierung 8 aufweist, welche vom Emittergebiet 11 in die Basisschicht 3 eindiffundiert ist. Die gestrichelte Linie in Figur 1 zeigt den Rand der Gegendotierung 8.

Die Basisschicht 3 umfaßt ferner einen extrinsischen Bereich 6, der zwischen einem Basiskontakt 5 und dem intrinsischen Bereich 4 verläuft.

15

Es ist darüber hinaus in der Basisschicht 3 eine erste Dotierschicht 7 vorgesehen, die innerhalb des extrinsischen Bereichs 6 und auch innerhalb des Emitters 1 verläuft. Die erste Dotierschicht 7 ist vorzugsweise durch Dotierung mit Bor hergestellt. Gemessen an einer Tiefenskala, die am oberen Ende des Pfeiles A (bei  $t_0$ ) beginnt, beginnt die erste Dotierschicht 7 bei einer Tiefe  $t_1$ . Sie erstreckt sich bis zu einer Tiefe  $t_2$ . Im Bereich zwischen Emittergebiet 11 und Kollektor 2 liegt die erste Dotierschicht 7 vollständig innerhalb des Emitters 1. An die erste Dotierschicht 7 schließt sich eine zweite Dotierschicht 9 an. Die zweite Dotierschicht 9 erstreckt sich von der Tiefe  $t_2$  bis zur Tiefe  $t_4$ . Die zweite Dotierschicht 9 weist eine kleinere Dotierung auf als die erste Dotierschicht 7. An die zweite Dotierschicht 9 schließt sich eine dritte Dotierschicht 10 an. Die dritte Dotierschicht 10 erstreckt sich von der Tiefe  $t_4$  bis zur Tiefe  $t_5$ . Bei der Tiefe  $t_5$  beginnt dann der Kollektor 2. Die dritte Dotierschicht 10 weist eine höhere Dotierung als die zweite Dotierschicht 9 auf. Vorzugsweise sind alle drei Dotierschichten 7, 9, 10 durch den Dotierstoff Bor hergestellt.

P2001,0893

## 5

An der Tiefenskala entlang der Linie A erstreckt sich die Gegendotierung 8 bis zur Tiefe  $t_3$ , was soviel bedeutet wie, daß die Gegendotierung 8 sich noch bis in die zweite Dotierschicht 9 hineinerstreckt.

5

Figur 2 zeigt die Konzentrationsabhängigkeit von Dotierungen entlang der Linie A in Figur 1. Dabei ist die Dotierstoffkonzentration  $C$  über der Tiefe  $t$  aufgetragen.  $C_{4\max}$  stellt die maximale Dotierstoffkonzentration der Gegendotierung 8 im Bereich der Basisschicht 3 darstellt. Die Tiefe  $t_0$  markiert die Grenze zwischen dem Emittergebiet 11 und der Basisschicht 3. Dies ist zugleich die Grenze zwischen einem Siliziummaterial, das in polykristalliner Form (Emittergebiet 11) und in einkristalliner Form (Basisschicht 3) vorliegt. In einem Abstand zu dieser Grenzschicht zwischen Emittergebiet 11 und Basisschicht 3 beginnt die erste Dotierschicht 7. Die erste Dotierschicht 7 weist eine über die Schichtdicke  $t_2 - t_1$  hinweg im wesentlichen konstante Dotierstoffkonzentration  $C_1$  auf. Die Dotierstoffkonzentration  $C_1$  beträgt vorzugsweise zwischen  $1 \times 10^{18}$  und  $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ . Die Dicke  $t_2 - t_1$  der ersten Dotierschicht 7 beträgt vorzugsweise zwischen 10 bis 100 nm.

Direkt anschließend an die erste Dotierschicht 7 schließt sich die zweite Dotierschicht 9 an. Die Dotierstoffkonzentration innerhalb der zweiten Dotierschicht 9 ist im wesentlichen konstant und entspricht der Dotierstoffkonzentration  $C_2$ .  $C_2$  liegt vorzugsweise zwischen  $1 \times 10^{18}$  und  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ . Die Dicke  $t_4 - t_2$  der zweiten Dotierschicht 9 wird so gewählt, daß wenigstens die Hälfte der zweiten Dotierschicht 9 noch innerhalb des durch die Gegendotierung 8 begrenzten und die äußere Grenze des Emitters 1 darstellenden Gebietes liegt. Dies ist vorteilhaft zur Realisierung einer geringen parasitären Emitter-Basis-Kapazität.

Neben der zweiten Dotierschicht 9 liegt noch die dritte Dotierschicht 10. Die dritte Dotierschicht 10 weist eine Dicke  $t_5 - t_4$  auf, die typischerweise 5 bis 50 nm beträgt. Die in-

P2001,0893

6

nerhalb der dritten Dotierschicht 10 im wesentlichen konstante Dotierstoffkonzentration C3 beträgt vorzugsweise zwischen  $5 \times 10^{18}$  und  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ .

5 Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn die Dotierstoffkonzentration C1 der ersten Dotierschicht 7 einen beträchtlichen Anteil an der Gesamt-Dotierstoffmenge in der Basisschicht 3 aufweist. Dadurch kann gewährleistet werden, daß die erste Dotierschicht 7 in signifikanter Weise zur Leitfähigkeit der  
10 Basisschicht 3 beiträgt. Vorteilhafterweise beträgt der Anteil der ersten Dotierschicht 7 an der gesamten Dotierstoffmenge, die durch die erste Dotierschicht 7 zusammen mit der zweiten Dotierschicht 9 und der dritten Dotierschicht 10 bestimmt wird, 30 % oder mehr.

15

Die im unteren Teil unterhalb der Abszisse sowie im oberen Teil von Figur 2 angegebenen Bezugszeichen entsprechen den in Figur 1 für die einzelnen Schichten verwendeten Bezugszeichen.

20

Es ist desweiteren in Figur 2 die Gegendotierung 8 zu erkennen, die ausgehend von einer maximalen Dotierstoffkonzentration C4max mit zunehmender Tiefe zunächst konstant bleibt und dann in etwa am unteren Rand der ersten Dotierschicht 7 stark  
25 abfällt und schließlich innerhalb der zweiten Dotierschicht 9 bis auf Null reduziert ist. Die Gegendotierung 8 markiert den äußersten Rand des Emitters 1. Sie bewirkt, daß die in der Basisschicht 3 vorhandene erste Dotierschicht 7, welche den ohmschen Widerstand der extrinsischen Basis anhebt, im  
30 intrinsischen Teil des Transistors keine negativen Auswirkungen hat. Die Gegendotierung 8 ist dabei so ausgelegt, daß die Dotierung der ersten Dotierschicht 7 wenigstens kompensiert und vorzugsweise sogar überkompensiert wird.

35 Entsprechend der durch die Gegendotierung 8 festgelegte Grenze zwischen Emitter 1 und intrinsischem Bereich 4 der Basis erstreckt sich der intrinsische Bereich 4 in etwa zwischen



P2001,0893

7

der Tiefe  $t_5$  und der Tiefe  $t_3$ , während sich der Emitter 1 zwischen der Tiefe  $t_3$  und dem linken Rand der Figur 2 erstreckt. Das Emittergebiet wird vertikal von der einkristallinen Basisschicht begrenzt. Lateral wird es fotolithographisch definiert, so daß die Eindiffusion von As nur im intrinsischen Bereich wirksam ist.

- Es ist in Figur 2 noch eine Germaniumdotierung 12 zu erkennen, die ausgehend vom Kollektor 2 zur Basis hin abfällt.
- 10 Durch eine solche rampenförmige Germaniumdotierung 12 kann eine Beschleunigung der von dem Kollektor 2 in die Basis eindringenden Ladungsträger erfolgen, was die Geschwindigkeit des Transistors erhöht.
- 15 Die maximale Dotierstoffkonzentration der Gegendotierung 8  $C_{4max}$  liegt vorzugsweise im Bereich zwischen  $1 \times 10^{20}$  und  $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ . Für die Gegendotierung 8 wird vorzugsweise das Material Arsen verwendet. Dieses Arsen ist vom Emittergebiet 11 in die Basisschicht 3 eindiffundiert.
- 20 Es ist darüber hinaus vorteilhaft, durch den Einbau von Kohlenstoffatomen im Konzentrationsbereich größer als  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  in die Basisschicht 3 dafür zu sorgen, daß die Diffusion des dreiwertigen Dotierstoffs, insbesondere die Diffusion von
- 25 Bor wirksam vermindert wird. Dadurch kann erreicht werden, daß die Breite der Basisschicht 3 vermindert werden kann, woraus eine höhere Cut-Off-Frequenz resultiert. Der Einbau von Kohlenstoffatomen kann beispielsweise durch Mitabscheidung von Kohlenstoff beim epitaktischen Wachstum der Basis-
- 30 schicht 3 erfolgen.

P2001,0893

## Patentansprüche

## 1. Transistor

- 5 - mit einem Emitter (1), einem Kollektor (2) und einer Basis-  
schicht (3)
- bei dem sich der Emitter (1) in die Basisschicht (3) hinein-  
erstreckt,
- 10 - bei dem die Basisschicht (3) einen zwischen Emitter (1) und  
Kollektor (2) angeordneten intrinsischen Bereich (4) und  
einen zwischen dem intrinsischen Bereich (4) und einem Ba-  
siskontakt (5) verlaufenden extrinsischen Bereich (6) auf-  
weist,
- 15 - bei dem die Basisschicht (3) eine mit einem dreiwertigen  
Dotierstoff dotierte erste Dotierschicht (7) enthält, die  
sich in den extrinsischen Bereich (6) erstreckt und die im  
Bereich des Emitters (1) durch eine fünfwertige Gegendotie-  
rung (8) gegendotiert ist.

## 2. Transistor nach Anspruch 1,

- 20 bei dem der dreiwertige Dotierstoff Bor ist.

## 3. Transistor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

- 25 - bei dem zwischen der ersten Dotierschicht (7) und dem Kol-  
lektor (2) zwei weitere mit einem dreiwertigen Dotierstoff  
dotierte Dotierschichten (9, 10) angeordnet sind,
- und bei dem die Dotierstoffkonzentration (C2) der zwischen  
der ersten Dotierschicht (7) und der dritten Dotierschicht  
(10) angeordneten zweiten Dotierschicht (9) kleiner ist als  
30 die Dotierstoffkonzentration (C1) der ersten Dotierschicht  
(7) und kleiner als die Dotierstoffkonzentration (C3) der  
dritten Dotierschicht (10).

## 4. Transistor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

- 35 - bei dem die erste Dotierschicht (7) einen Anteil von wenig-  
stens 30 % an der gesamten Dotierstoffmenge der Basis-  
schicht (3) aufweist.

P2001,0893

9

5. Transistor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Gegendotierung (8) von einem in die Basisschicht (3) angrenzenden Emittergebiet (11) in die Basisschicht (3) eindiffundiert ist.

5

6. Transistor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem in der Basisschicht Kohlenstoffatome mit einer Konzentration  $> 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  eingebaut sind.

P2001,0893

10

## Zusammenfassung

## Transistor

- 5 Die Erfindung betrifft einen Transistor mit einem Emitter (1), einem Kollektor (2) und einer Basisschicht (3) bei dem sich der Emitter (1) in die Basisschicht (3) hineinerstreckt, bei dem die Basisschicht (3) einen zwischen Emitter (1) und
- 10 Kollektor (2) angeordneten intrinsischen Bereich (4) und einen zwischen dem intrinsischen Bereich (4) und einem Basiskontakt (5) verlaufenden extrinsischen Bereich (6) aufweist, bei dem die Basisschicht (3) eine mit einem dreiwertigen Dotierstoff dotierte erste Dotierschicht (7) enthält, die sich in den extrinsischen Bereich (6) erstreckt und die im Bereich
- 15 des Emitters (1) durch eine fünfwertige Gegendotierung (8) gegendotiert ist. Durch die erste Dotierschicht (7) kann der elektrische Widerstand der Basisschicht (3) in vorteilhafter Weise reduziert werden.

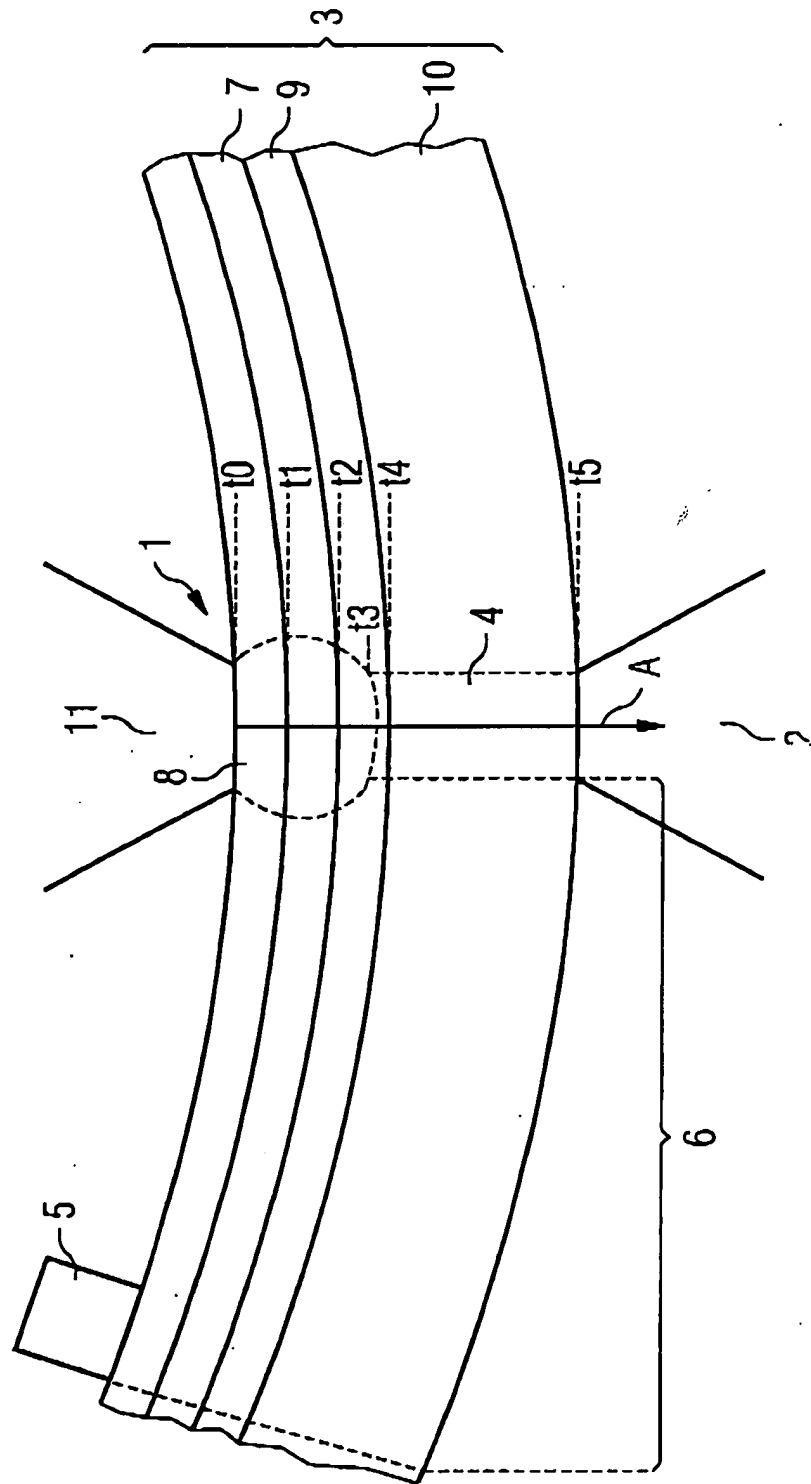
20 Figur 1

P2001,0893

1/2

10/500079

FIG 1



**P2001,0893**

2/2

10/500079

FIG 2

